

**Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava**

číslo 1, rok 2011, ročník XI, řada stavební

článek č. 20

**Jaroslav SOLAŘ<sup>1</sup>****OCHRANA PODZEMNÍCH LINIOVÝCH STAVEB PROTI PRONIKÁNÍ METANU Z PODLOŽÍ****THE PROTECTION OF SUBTERRANEAN LINE CONSTRUCTIONS FROM INFILTRATION OF METHAN FROM SUBSOIL****Abstrakt**

Metan se vyskytuje na zemském povrchu zpravidla na poddolovaném území, zejména v lokalitách, kde již bylo hlubinné dobývání ukončeno. Ochranu podzemních liniových staveb proti pronikání metanu z podloží zajistíme povlakovou izolací z vhodného typu polymerní fólie. Příspěvek pojednává o problematice návrhu izolace proti pronikání metanu z podloží do podzemních liniových staveb (např. kolektorů, šachet, jímek, zásobníků, vodojemů apod.).

**Klíčová slova**

Poddolované území, metan, podzemní liniové stavby, izolace proti pronikání metanu.

**Abstract**

Methan is located on the earth gen surface, usually in undermined areas, especially in localities where mining was ended. The protect of subterranean line buildings against the infiltration of methan can be provided by plague isolation of suitable type of polymer film. This contribution deals with suggestion of isolation against infiltration of methan into subterranean line buildings (e. g. into shafts, reservoirs, silos, water reservoirs etc).

**Keywords**

Undermined area, methan, subterranean line buildings, isolation against infiltration of methan.

**1 ÚVOD**

Mezi podzemní liniové stavby náleží zejména kolektory, šachty (např. armaturní), jímky, zásobníky, vodojemy. **K obecným požadavkům na podzemní liniové stavby patří:**

**1. Statické požadavky.**

**2. Požadavky na hydroizolaci.**

**3. Požadavky na ochranu proti metanu.**

V rámci tohoto příspěvku bude pojednáno pouze o problematice ochrany proti pronikání metanu.

**2 POŽADAVKY NA OCHRANU PROTI PRONIKÁNÍ METANU**

Metan se vyskytuje na zemském povrchu zpravidla na poddolovaném území, zejména v lokalitách, kde již bylo hlubinné dobývání ukončeno. A to v okolí starých důlních děl, která nejsou

---

<sup>1</sup> Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1301, e-mail: [jaroslav.solar@vsb.cz](mailto:jaroslav.solar@vsb.cz).

větrána, kde důlní plyny pronikají skrze propustnost nadložních vrstev na zemský povrch. Poddolovaným územím se v souladu s ČSN 73 0039 [1] rozumí území v dosahu účinků hlubinného dobývání. Problém spočívá ve skutečnosti, že směs metanu se vzduchem může vytvořit výbušnou nebo hořlavou koncentraci. Výbušná koncentrace metanu, v závislosti na obsahu plynu ve směsi se vzduchem, se pohybuje přibližně v rozmezí 5 – 15%.

### 3 POVLAKOVÁ IZOLACE PROTI PRONIKÁNÍ METANU Z PODLOŽÍ

Ochranu podzemních liniových staveb proti pronikání metanu z podloží zajistíme povlakovou izolací z vhodného typu polymerní fólie. Povlaková izolace proti pronikání metanu z podloží se provede na všech kontaktních konstrukcích, které jsou v kontaktu s podložím, tedy po celém obvodu. Povlaková izolace radikálním způsobem snižuje difúzi metanu skrze kontaktní konstrukce dovnitř objektu: A to v závislosti na hodnotě jejího součinitele difúze  $D$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] pro metan.

Zároveň je nutno zajistit minimální hodnotu intenzity výměny vzduchu v podzemním objektu, a to  $n_{\text{min},N} = 0,1 \text{ h}^{-1}$ . To proto, aby nemohlo docházet ke kumulaci metanu v prostoru podzemního objektu. **Pro návrh povlakové izolace proti pronikání metanu z podloží platí následující zásady:**

1. **Pokud bude podzemní objekt situován na poddolovaném území,** musí být v rámci projektu rovněž řádně vyřešena odolnost protitetanové izolace proti účinkům poddolování v souladu s ČSN 73 0039 [1].
2. **Izolace proti pronikání metanu je zároveň hydroizolací.** Musí být tedy navržena v souladu s ČSN P 73 0606 [4] a ČSN P 73 0600 [3].
3. **Izolace se navrhne z vhodné polymerní fólie.** Návrh tloušťky izolace se doloží výpočtem (viz kap. 3. 1).

Na základě dosavadních měření součinitelů difúze metanu  $D_m$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] je možno konstatovat:

- Jako nejvhodnější materiály se jeví fólie na bázi vysokohustotního polyetylenu (PE-HD) a polypropylenu (PP). To proto, že vykazují velmi nízké hodnoty součinitelů difúze metanu  $D_m$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Příklady hodnot součinitelů difúze metanu  $D_m$  u některých materiálů jsou uvedeny v tab. 1.

**Izolační materiál musí splňovat následující požadavky:**

- a) **Musí mít stanoven součinitel difúze metanu  $D_m$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ], a to jak v ploše, tak také ve spoji.**  
Je nepřipustné, například u fóliových izolačních systémů nahrazovat svařované spoje pomocí samolepicích pásků, jejichž těsnost může být z hlediska pronikání metanu problematická.
- b) **Tažnost izolačního materiálu** musí být taková, aby izolace byla schopna přenést mezní deformace, které jsou pro určitý typ konstrukce uvedeny v ČSN 73 1001 [6]. Pokud bude objekt ovlivněn účinky poddolování, musí být izolace schopna přenést také deformace v důsledku účinků poddolování, pokud je objekt zajištěn konstrukčním systémem poddajným nebo smíšeným podle ČSN 73 0039 [1]. V případě zajištění na principu tuhosti zde zpravidla problém nebude.
- c) **Trvanlivost izolačního materiálu** musí odpovídat předpokládané životnosti stavby.
- d) **Izolační materiál musí splňovat všechny požadavky, které vyplývají z konkrétních podmínek na staveništi** (odolnost proti mechanickému namáhání, koroznímu namáhání, apod.).

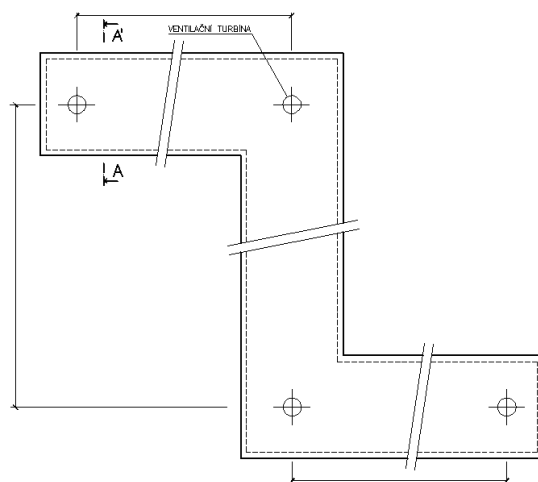
Tab. 1: Hodnoty součinitele difúze metanu  $D_m$ 

Izolace			D [ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	
Název	Výrobce - dodavatel	Typ	Plocha	Spoj
<b>Asfaltové pásy</b>				
FOALBIT AL - SR S 40	Icopal, s. r. o. Praha		3,877.10 <sup>-9</sup>	3,108.10 <sup>-8</sup>
FOALBIT AL - S 40	Icopal, s. r. o. Praha		1,196.10 <sup>-8</sup>	7,539.10 <sup>-8</sup>
Paraplast M PV S 50-15 AB	Parabit Technologies, s. r. o. Zbuzany		5,814.10 <sup>-9</sup>	1,194.10 <sup>-7</sup>
<b>Fólie</b>				
Penefol 950	Lithoplast, s. r. o. Brno	PEHD	3,461.10 <sup>-12</sup>	4,223.10 <sup>-12</sup>
Junifol	Juta, a. s. Dvůr Králové	PEHD	3,27.10 <sup>-12</sup>	
Oldroyd	Oldroyd systemer A/S, 3766 Sannidal Norway, do ČR dováží: Izohelp, s. r. o. Liberec	PP	8,147.10 <sup>-12</sup>	4,806.10 <sup>-12</sup>
Penefol 800	Lithoplast, s. r. o. Brno	PELD	2,35.10 <sup>-10</sup>	neměřeno
Fatrafol 803	Fatra Napajedla	mPVC	4,617.10 <sup>-10</sup>	4,538.10 <sup>-9</sup>
R-fol 950	PK IZOLACE, s. r. o. Herálec	PEHD	3,51.10 <sup>-12</sup>	9,42.10 <sup>-12</sup>
R-fol 900	PK IZOLACE, s. r. o. Herálec	PEHD	1,01.10 <sup>-11</sup>	1,15.10 <sup>-11</sup>
R-fol 800	PK IZOLACE, s. r. o. Herálec	PEHD	1,11.10 <sup>-11</sup>	3,59.10 <sup>-11</sup>
Fatrafol 806	Fatra Napajedla	mPVC	4,05.10 <sup>-12</sup>	9,35.10 <sup>-12</sup>
F 635-15	Sarnafil	mPVC	2,16.10 <sup>-11</sup>	6,16.10 <sup>-11</sup>
G 476-15	Sarnafil	mPVC	4,01.10 <sup>-11</sup>	5,74.10 <sup>-11</sup>
TG 68-20	Sarnafil	mPVC	1,87.10 <sup>-11</sup>	2,73.10 <sup>-11</sup>
<b>Cementová malta</b>				
Cementová malta (těžené kamenivo)			7,64.10 <sup>-5</sup>	----
Cementová malta (drcené kamenivo)			3,63.10 <sup>-6</sup>	----

- Veškeré **prostupy izolací** proti průniku metanu musí být řešeny pomocí **ocelových plášťových trub s navařenými pevnými přírubami**, kde se izolační povlak sevře mezi pevnou a volnou přírubou. Prostor mezi plášťovou troubou a prostupujícím potrubím či kabelem se vyplní vhodným plynotěsným těsněním (např. trvale pružným tmelem, pryžovými profily, apod.). Zde je možno uplatnit stejné zásady, které platí pro izolace proti průniku radonu, a to požadavky kap. 6. 8 v ČSN 73 0601 [5].
- Pod vodorovnou izolací se provede podkladní vrstva** – podkladní beton (třída betonu C 12/15) o minimální tloušťce 100 mm.
- Na poddolovaném území** je možno podkladní beton doplnit, z důvodu snížení smykových napětí v základové spáře, také kluznou spárou tak, jak je popsáno v ČSN 73 0039 [1], popřípadě reologickou kluznou spárou. Smyková napětí v základové spáře a pod podkladním betonem je možno částečně snížit také položením vhodné separační vrstvy (např. geotextilie) pod vrstvu podkladního betonu, tedy přímo na terén, nebo na šterkopískový polštář.
- Podkladní beton se provede buďto:**
  - Přímo na rostlý terén – u propustného podloží z hlediska podzemní vody.
  - Na šterkopískový polštář – v případě nepropustného podloží z hlediska podzemní vody (v případě zemin o hodnotě součinitele propustnosti  $k \geq 1.10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup> – viz ČSN P 73 0600 [3]. Tloušťka šterkopískové vrstvy – min. 200 mm. Rovinnost a vlhkost podkladu musí respektovat druh použité izolačního materiálu. Ty jsou zpravidla předepsány příslušnými výrobci.

8. Pro ochranu izolace, její provádění a přejímku platí obecně zásady jako v případě hydroizolací.
9. Při aplikaci povlakové izolace je vhodné provést zasypy kolem podzemních objektů a nad nimi použít materiály s vysokou plynopropustností, tzn. zeminou šterkovitou nebo písčitou třídy G1, G2, G3, S1, S2, S3 podle ČSN 73 1001 [6].
10. Pokud je to možné, nepoužívat nad podzemními objekty a v jejich nejbližším okolí ve větších plochách terénní úpravy z materiálů, které mají nízkou plynopropustnost (např. asfalt, beton, apod.).
11. Pro zajištění výměny vzduchu v podzemním objektu se do jeho stropní konstrukce osadí ventilační turbíny. Viz obr. 1. Ty je vhodné osadit zejména v místech změn směru. Jejich maximální vzdálenosti se navrhnou v závislosti podle velikosti turbín.

Rychlost proudění vzduchu je možno zvýšit například ventilačními turbínami typu Lomanco, apod., které se umístí v určitých vzdálenostech od sebe. Jejich otáčení je způsobeno vanutím větru. Otáčení turbín pak vyvolává proudění vzduchu v kolektoru. V současné době se již vyrábějí také turbíny se zabudovaným ventilátorem, který zajistí jejich funkci při minimálních rychlostech větru a za bezvětří (na území ČR je ze statistického hlediska bezvětří přibližně čtvrt roku). Cenové náklady za energii pro pohon ventilátoru jsou minimální.



Obr. 1: Příklad půdorysného umístění ventilačních turbín v kolektoru

### 3.1 Dimenzování tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu

Návrh druhu a tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu závisí také na dalších požadavcích, které má izolace splňovat (viz výše). Z tohoto důvodu musí být provedeno její komplexní posouzení z hlediska všech funkcí, které budou na ni kladeny v konkrétních podmínkách.

Níže uvedený postup návrhu tloušťky povlakové izolace proti pronikání metanu byl sestaven na základě [9], ze které byly převzaty vztahy (2) a (4). Tento postup umožňuje navrhnout minimální potřebnou tloušťku izolace  $b_{\min}$  [m] tak, aby intenzita hmotnostního toku metanu přes izolaci dovnitř podzemního objektu  $Q_m$  byla menší, než je její maximální dovolená hodnota  $Q_{m, \max}$ .

a) Minimální potřebnou tloušťku izolace  $b_{\min.}$  [m] proti pronikání metanu určíme ze vztahu:

$$b_{\min.} = D_m \cdot \frac{A \cdot (v_1 - v_2)}{n \cdot V \cdot v_2} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

kde:  $D_m$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] – součinitele difúze metanu  
 $v_1$  [%] – koncentrace metanu vycházejícího z podloží  
 $v_2$  [%] – maximální přípustná koncentrace metanu za izolaci (uvnitř objektu)  
 $A$  [ $\text{m}^2$ ] – celková plocha konstrukcí, které jsou v kontaktu s podložím – viz vztah (3)  
 $V$  [ $\text{m}^3$ ] – celkový objem posuzované místnosti  
 $n$  [ $\text{s}^{-1}$ ] – intenzita větrání infiltrací u posuzované místnosti

Do vztahu (1) dosazujeme následující hodnoty:

- $v_2 = 1 \cdot 10^{-3}$ , tedy 0,1 % (viz kap. 1).
- Hodnotu  $v_1$  pak dosazujeme hodnotou 100 %. (Výpočet tak bude na straně bezpečnosti).
- Hodnotu  $D_m$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] dosadíme podle konkrétního izolačního materiálu. A to z naměřených hodnot v ploše a ve spoji hodnotu nepříznivější, tedy hodnotu vyšší.
- Z bezpečnostních důvodů dosadíme hodnotu  $n = 0,05 \text{ h}^{-1}$  ( $n = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), tedy hodnotu poloviční než je  $n_{\min,a} = 0,1 \text{ h}^{-1}$ .

Celkovou plochu konstrukcí  $A$  [ $\text{m}^2$ ], které jsou v kontaktu s podložím, vypočteme ze vztahu:

$$A = A_p + A_s + A_{\text{strop}} \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

kde:  $A_p$  [ $\text{m}^2$ ] – plocha podlahy, která je v kontaktu s podložím  
 $A_s$  [ $\text{m}^2$ ] – celková plocha všech stěn, které jsou v kontaktu s přilehlou zeminou  
 $A_{\text{strop}}$  [ $\text{m}^2$ ] – celková plocha stropu podzemní místnosti

Poznámka:

1. Hustota metanu je sice nižší než hustota vzduchu a není tedy předpoklad, že by mohlo docházet k jeho difúzi do podzemních objektů skrze stropní konstrukce. Nicméně na stropě musí být provedena hydroizolace proti gravitační vodě. Je vhodné, aby tato byla provedena ze stejného materiálu, jako podlaha a stěny.
2. Částečnou difúzi skrze konstrukci stropu však nelze úplně vyloučit například v místech, kde bude nad podzemní stavbou provedena nepropustná vrstva (např. asfaltová či betonová plocha), pod níž může docházet k jeho kumulaci.
3. Zahrnutím plochy stropu do výpočtu bude tento na straně bezpečnosti.

b) Doba  $t_k$  [s], za kterou vzroste koncentrace metanu v místnosti na kritickou hodnotu koncentrace metanu  $v_{2,\text{krit.}} = 4$  % vypočteme ze vztahu:

$$t_k = \frac{V \cdot b}{D_m \cdot A} \cdot \ln \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_{2,\text{krit.}}} \quad [\text{s}] \quad (3)$$

Kde:  $b$  [m] – navržená skutečná tloušťka izolace,  
 $v_{2,\text{krit.}}$  [%] – kritická koncentrace metanu. Dosazujeme vždy  $v_{2,\text{krit.}} = 4$  %.

Význam ostatních veličin je stejný jako u vztahu (1).

Doba  $t_k$  se počítá za předpokladu hodnoty intenzity větrání  $n = 0$ .

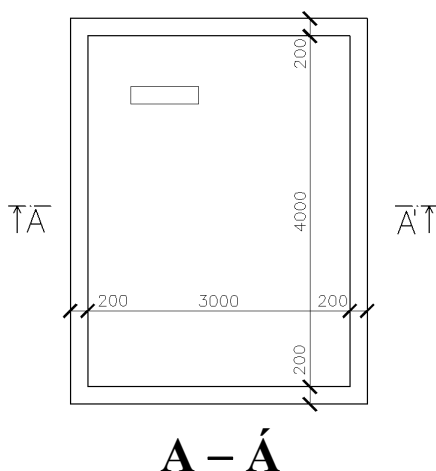
Musí být splněna podmínka:

$$t_k \geq 30 \text{ dní} \quad (4)$$

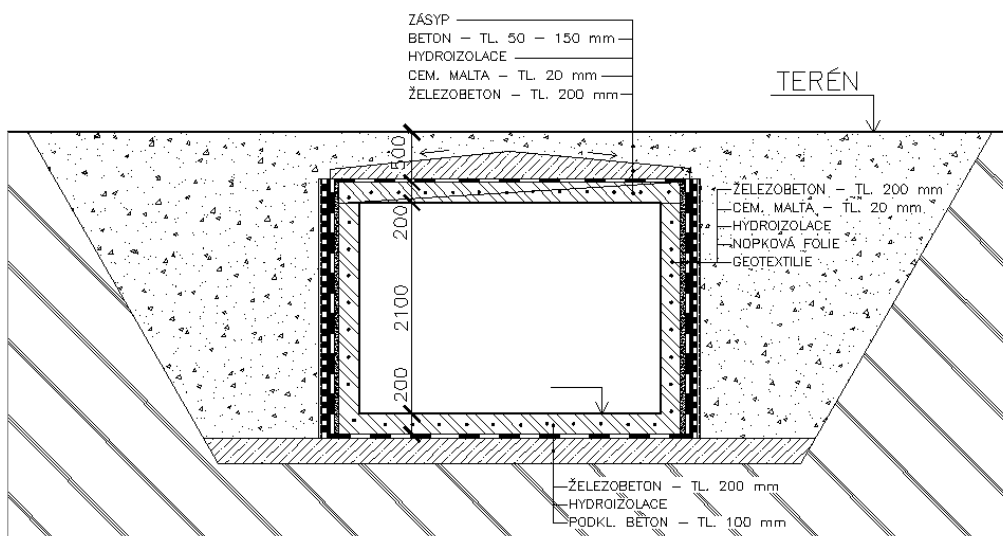
### 3.2 Příklady návrhu izolace proti pronikání metanu z podloží

#### a) Podzemní místnost (např. armaturní komora)

Uvažujme novostavbu armaturní komory veřejného vodovodu. Půdorys objektu je patrný z obr. 2, řez je znázorněn na obr. 3. Objekt se nachází pod úrovní terénu. Výškové poměry jsou znázorněny na obr. 3. Objekt bude větrán ventilační turbínou umístěnou v přilehlém kolektoru, který je na armaturní komoru napojen.



Obr. 2: Půdorys podzemního objektu armaturní komory



Obr. 3. Řez A-A

#### 1. Vypočteme základní geometrické charakteristiky

Celkový objem podzemní místnosti:  $V = 3,0 \cdot 4,0 \cdot 2,1 = 25,2 \text{ m}^3$

Celková plocha konstrukcí, které jsou v kontaktu s podložím:

$$A = A_p + A_s + A_{\text{strop}} = 2 \cdot (3,0 \cdot 4,0 + 3,0 \cdot 2,1 + 4,0 \cdot 2,1) = 53,4 \text{ m}^2$$

## 2. Vypočteme minimální potřebnou tloušťku izolace $b$ [m]

Výpočtová hodnota intenzity větrání  $n = 0,05 \text{ h}^{-1} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

$$v_1 = 1,0$$

$$v_2 = 0,001$$

Navržena polymerní fólie Penefol 950 na bázi PE-HD: Hodnoty koeficientu difúze pro metan  $D_m$  jsou (viz tab. 1):

a) v ploše fólie (bez spoje) –  $D_m = 3,461 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

b) ve spoji –  $D_m = 4,223 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$b_{\min.} = D_m \cdot \frac{A \cdot (v_1 - v_2)}{n \cdot V \cdot v_2} = 4,223 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{53,40(1 - 0,001)}{1,39 \cdot 10^{-5} \cdot 25,2 \cdot 0,001} = 6,43 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,7 \text{ mm}$$

Navrhujeme nejbližší vyšší vyráběnou tloušťku fólie Penefol 950  $b = 0,8 \text{ mm}$ .

*Poznámka: Vzhledem k tomu, že izolace proti pronikání metanu je zároveň také hydroizolací, bude nutno, v závislosti na konkrétních podmínkách hydrofyzikálního namáhání, porovnat tloušťku protimetanové, resp. hydroizolační fólie s požadavky ČSN 73 0606 [4]*

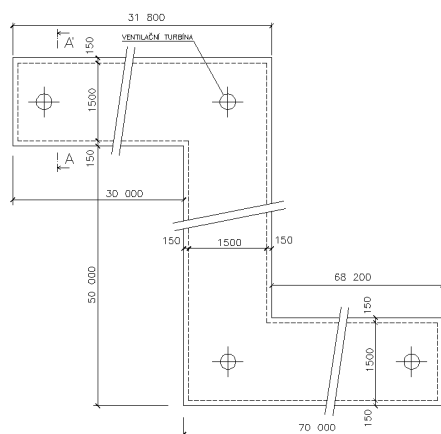
## 3. Vypočteme dobu $t_k$ [s], za kterou vzroste koncentrace metanu v podzemní místnosti na kritickou hodnotu koncentrace metanu $v_{2,\text{krit.}} = 4 \%$ (při $n = 0$ )

$$t_k = \frac{V \cdot b}{D_m \cdot A} \cdot \ln \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_{2,\text{krit.}}} = \frac{25,2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{4,223 \cdot 10^{-12} \cdot 53,4} \cdot \ln \frac{1 - 0,001}{1 - 0,04} = 3\,559\,965 \text{ s} = 41,2 \text{ dne} > 30 \text{ dnů} \Rightarrow$$

navržená tloušťka fólie  $b = 0,8 \text{ mm}$  **vyhovuje**.

### b) Podzemní kolektor

Uvažujeme novostavbu podzemního kolektoru pro vedení dálkového vytápění. Půdorys objektu je patrný z obr. 4. Řez a výškové poměry jsou znázorněny na obr. 5. Objekt bude větrán ventilačními turbínami.



Obr. 4: Půdorys kolektoru





$$t_k = \frac{V \cdot b}{D_m \cdot A} \cdot \ln \frac{v_1 - v_2}{v_1 - v_{2,krit}} = \frac{202,1,1,3 \cdot 10^{-3}}{4,223 \cdot 10^{-12} \cdot 721,4} \cdot \ln \frac{1 - 0,001}{1 - 0,04} = 3\,434\,234 \text{ s}$$

tj. 39 dní > 30 dnů ⇒ navržená tloušťka fólie b = 1,3 mm vyhovuje

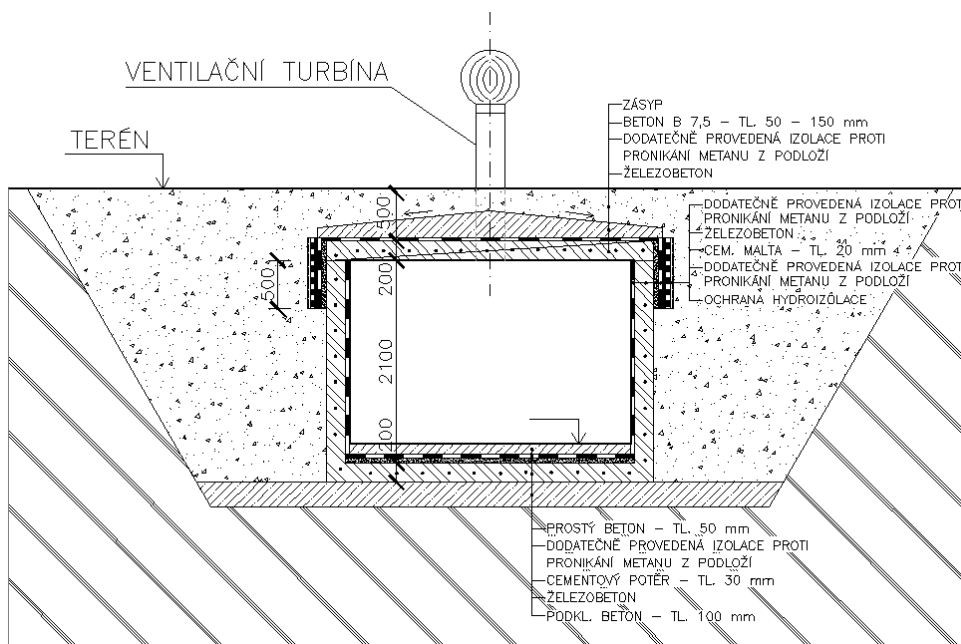
*Poznámka: Vzhledem k tomu, že izolace proti pronikání metanu je zároveň také hydroizolací, bude nutno, v závislosti na konkrétních podmínkách hydrofyzikálního namáhání, porovnat tloušťku protimetanové, resp. hydroizolační fólie s požadavky ČSN 73 0606 [4].*

#### 4 DODATEČNÁ OPATŘENÍ U STÁVAJÍCÍCH PODZEMNÍCH STAVEB

U stávajících podzemních staveb, u kterých byla zjištěna nebezpečná koncentrace metanu, bude třeba realizovat následující opatření:

1. **Provede se dodatečná izolace proti pronikání metanu na dně a obvodových stěnách podzemního objektu.**
2. **Následně po realizaci stropu se provede izolace proti pronikání metanu také na stropě s přetažením na svislé stěny do hloubky min. 500 mm.** Viz obr. 6. Dimenze protimetanové izolace se určí výpočtem (viz výše).
3. **Do konstrukce stropu se osadí ventilační turbína (resp. turbíny).** Jejich velikost a počet se navrhne v závislosti na velikosti podzemního objektu.

Pokud se bude jednat o liniový podzemní kolektor, pak bude vhodné osadit ventilační turbíny také v místech ohybů. Viz obr. 4 a 6.



Obr. 6: Princip řešení dodatečných úprav u stávajícího podzemního kolektoru

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území (1989).
- [2] ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území (1989).
- [3] Bradáč J.: Účinky poddolování a ochrana objektů. Díl první. EXPERT – Technické nakladatelství Ostrava, 1996.
- [4] ČSN 73 0600 Hydroizolace staveb – Základní ustanovení (2000).
- [5] ČSN 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení (2000).
- [6] ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží (2006).
- [7] ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy (1987).
- [8] ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky (2004).
- [9] Bradáč J.: Účinky poddolování a ochrana objektů. Díl druhý. Dům techniky Ostrava, spol. s r. o., květen 1999. ISBN 80-02-01276-3.
- [10] Blaha A., Fojtů D.: Metodika posuzování postačitelnosti protiplynové izolace proti pronikání metanu z podloží do stavebních objektů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, červenec 2003. Nепublikováno.

### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Martin Jiránek, CSc., Fakulta stavební, ČVUT Praha.

Ing. Michael Balík, CSc., Odvlhčování staveb, Praha.